

(19)日本国特許庁 (JP) (12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-110381

(43)公開日 平成7年(1995)4月25日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G01S 17/88		4240-5J		
17/42		4240-5J	G01S 17/88	Z

審査請求 未請求 請求項の数6 F D (全12頁)

(21)出願番号 特願平5-277626
(22)出願日 平成5年(1993)10月7日

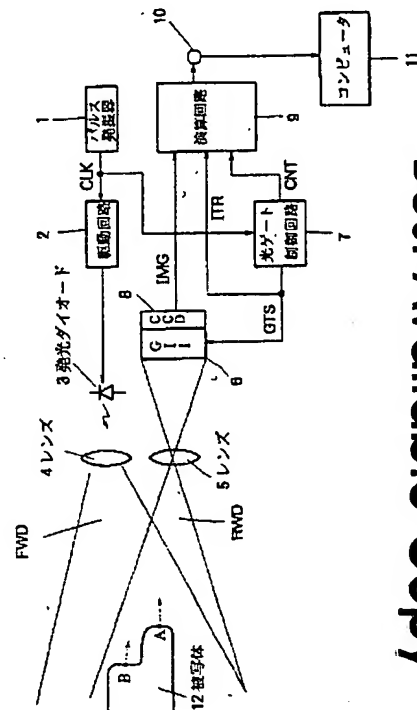
(71)出願人 000139403
株式会社ワコム
埼玉県北埼玉郡大利根町豊野台2丁目510
番地1
(72)発明者 小川 保二
埼玉県北葛飾郡鷺宮町桜田5丁目23番4
株式会社ワコム中央研究所内
(74)代理人 弁理士 鈴木 晴敏

(54)【発明の名称】距離カメラ装置

(57)【要約】

【目的】 三次元被写体の距離画像をリアルタイムで高精度に撮影する。

【構成】 距離カメラ装置はパルス発振器1を備えており時間基準となる所定の基準信号CLKを生成する。発光ダイオード3は基準信号CLKに基いて変調された一次光FWDを発して目標となる三次元の被写体12に照射する。レンズ5は被写体12から反射された二次光RWDを集光する。ゲート付イメージインテンシファイヤ6は二次光RWDの通過光路中に介在し、基準信号CLKに基いて生成されたゲート信号GTSに同期して通過光のゲート処理を行ない、二次光RWDに含まれる被写体12の距離情報を抽出する。CCDイメージセンサ8はゲート処理された二次光RWDを受光して対応する画像信号IMGを出力する。演算回路9は画像信号IMGを演算処理して被写体12の距離画像を合成し、コンピュータ11に送出する。



Best Available Copy

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 時間基準となる所定の基準信号を生成する発振手段と、
該基準信号に基いて変調された一次光を発して目標となる三次元の被写体に照射する投光手段と、
該被写体から反射された二次光を集光する集光手段と、
該二次光の通過光路中に介在し、該基準信号に基いて作成されたゲート信号に同期して通過光のゲート処理を行ない、該二次光に含まれる被写体の距離情報を抽出する光ゲート手段と、
ゲート処理された該二次光を受光して対応する画像信号を出力する撮像手段と、
該画像信号を演算処理して該被写体の距離画像を合成する演算手段とを備えた距離カメラ装置。

【請求項 2】 前記光ゲート手段は互いに位相が 90° 異なる一対のゲート信号に同期して空間分割的又は時分割的に通過光のゲート処理を行ない、互いに直交する位相成分からなる距離情報を抽出する事を特徴とする請求項 1 記載の距離カメラ装置。

【請求項 3】 前記光ゲート手段は互いに位相が 180° 異なる一対のゲート信号に同期して空間分割的又は時分割的に通過光のゲート処理を行ない正負一対の位相成分からなる距離情報を抽出する事を特徴とする請求項 1 又は 2 記載の距離カメラ装置。

【請求項 4】 前記投光手段は間欠変調された一次光を投光する一方、前記光ゲート手段は、間欠ゲート信号に同期して二次光のゲート処理を行ない距離情報を抽出する事を特徴とする請求項 1 記載の距離カメラ装置。

【請求項 5】 前記投光手段は連続変調された一次光を投光する一方、前記光ゲート手段は連続ゲート信号に同期して二次光のゲート処理を行ない距離情報を抽出する事を特徴とする請求項 1 記載の距離カメラ装置。

【請求項 6】 前記撮像手段は蓄積型であり、該光ゲート手段と共働して等価的に二次光とゲート信号の積和演算を行ない相関距離情報を求める事を特徴とする請求項 1 記載の距離カメラ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は物体の三次元形状を非接触で検出する距離カメラ装置に関する。特に、遠距離にある物体の距離画像をリアルタイムで撮像するのに適した距離カメラ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来の距離カメラ装置では、物体をある入射角度で投光照明し、その反射光を撮像デバイスで受けて、入射光線の角度と反射光線の角度から物体の三次元形状を検出していた。つまり、三角測量法の原理を利用したものである。この様な距離カメラ装置は物体までの距離が離れている場合、投光器と受光器を十分離間しないと測定精度が確保できないという欠点があり、遠距

離物体の測定に当っては基だ使い勝手が悪いものであった。

【0003】 これに対して、光の速度を利用して物体の距離画像を求める技術が知られており、例えば特開平 1 - 100492 号公報に開示されている。図 11 に示す様に、この従来例ではレーザ 101 からの出力光を、発振器 103 によって駆動される光変調器 102 で強度変調する。強度変調されたレーザ光はアパーチャ鏡 104 の開口を通り、スキャナ 105 によって対象物 106 に照射される。対象物 106 からの散乱光はスキャナ 105 を通りアパーチャ鏡 104 によって反射され、集光レンズ 107 を介して光検出器 108 に集光される。光検出器 108 は集光された光を情報信号に変換する。この情報信号の振幅はレーザ光に対する対象物 106 の反射率並びに対象物 106 までの距離に対応して変化する。従って強度検出器 109 によって情報信号の強度を検出し、且つスキャナ 105 によってレーザ光の掃引を行なえば、テレビカメラによる測定と類似の輝度画像が得られる。又、情報信号の位相は対象物 106 までの距離に比例して遅延する。従って位相検出器 110 によって発振器 103 からの参照信号と情報信号との位相差を測定すれば、対象物 106 までの距離が求められる。距離 L は、位相差 ϕ 、光の速度 c 、レーザ光の強度変調周波数を f とすれば、 $L = c\phi / (4\pi f)$ で求められる。スキャナ 105 によるレーザ光の走査によって前述した輝度画像とは別の距離画像が得られる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 上述した光の速度を利用する技術は、基本的にレーザビームで照準を合わせた一点の三次元座標を検出するものである。従って、三次元物体の距離画像を求める為には被写体表面に沿ってレーザビームを走査し、各点ごとに三次元座標を演算しなければならず、1 回の距離画像撮影に長時間を要するという課題がある。この為、動体の距離画像をリアルタイムに撮像する事は困難であった。

【0005】

【課題を解決するための手段】 上述した従来の技術の課題に鑑み、本発明は遠距離にある物体の距離画像をリアルタイムで撮像可能な高速距離カメラ装置を提供する事を目的とする。かかる目的を達成する為以下の手段を講じた。即ち、本発明にかかる距離カメラ装置は基本的な構成要素として、発振手段、投光手段、集光手段、光ゲート手段、撮像手段、演算手段を備えている。発振手段は時間基準となる所定の基準信号を生成する。投光手段は該基準信号に基いて変調された一次光を発して目標となる三次元の被写体に照射する。集光手段は該被写体から反射された二次光を集光する。光ゲート手段は該二次光の通過光路中に介在し、該基準信号に基いて作成されたゲート信号に同期して通過光のゲート処理を行ない、該二次光に含まれる被写体の距離情報を抽出する。

撮像手段はゲート処理された該二次光を受光して対応する画像信号を出力する。演算手段は該画像信号を演算処理して該被写体の距離画像を合成する。

【0006】好ましくは、前記光ゲート手段は互いに位相が 90° 異なる一対のゲート信号に同期して空間分割的又は時分割的に通過光のゲート処理を行ない、互いに直交する位相成分からなる距離情報を抽出する。又、前記光ゲート手段は互いに位相が 180° 異なる一対のゲート信号に同期して空間分割的又は時分割的に通過光のゲート処理を行ない正負一対の位相成分からなる距離情報を抽出する様にしても良い。

【0007】さらに好ましくは、前記投光手段は間欠変調（パルス変調）された一次光を投光する一方、前記光ゲート手段は間欠ゲート信号に同期して二次光のゲート処理を行ない距離情報を抽出する。あるいは、前記投光手段は連続変調（例えば振幅変調）された一次光を投光する一方、前記光ゲート手段は連続ゲート信号に同期して二次光のゲート処理を行ない距離情報を抽出する様にしても良い。この場合、前記撮像手段は蓄積型（例えば CCD イメージセンサ）を用いる事が好ましく、該光ゲート手段と共働して等価的に二次光とゲート信号の積和演算を行ない相関距離情報を求める様にしている。

【0008】

【作用】本発明によれば変調された光波からなる一次光を用いて被写体を照射する。被写体から反射した二次光には各点ごとの距離に従って位相遅延が生じ距離情報が含まれる事になる。この二次光は高速動作可能な光ゲート手段によってゲート処理され距離情報（位相情報）が選択的に抽出できる。撮像手段は例えば CCD イメージセンサ等から構成され、各画素ごとに距離情報を記録する。これにより、遠距離にある三次元被写体の距離画像が精度良くリアルタイムで検出可能になる。CCD イメージセンサはそれ自体、光波の位相を検出できるほど応答速度は速くない。そこで、本発明では CCD イメージセンサ等からなる撮像手段の前面に高速な光ゲート手段を配置して、光波の位相を検出している。この時、互いに位相が 180° 異なる一対のゲート信号を用いて光ゲート手段の開閉制御を行なう事により、正負一対の位相成分からなる距離情報を抽出している。これにより位相検出時の相関演算の負側の演算も可能となり、直流成分を除去した高精度の位相検出ができる。又、互いに位相が 90° 異なる一対のゲート信号を用いて光ゲート手段の開閉制御を行ない、互いに直交する位相成分からなる距離情報を抽出している。これら互いに直交する位相成分の比をとる事により、より高精度の位相検出をより短時間で実行可能とする。

【0009】

【実施例】以下図面を参照して本発明の好適な実施例を詳細に説明する。図1は本発明にかかる距離カメラ装置の第1実施例を示すブロック図である。図示する様に、

本距離カメラ装置はパルス発振器1からなる発振手段を備えており、時間基準となる所定のクロック信号 CLK（基準信号）を生成する。又、駆動回路2と発光ダイオード3とレンズ4からなる投光手段を備えており、クロック信号 CLK に基いて間欠変調（パルス変調）された一次光 FWD を放射して目標となる三次元の被写体 12 に照射する。この被写体 12 は例えば、カメラ装置本体に比較的近い A 部と比較的遠い B 部とを有している。

【0010】一方、レンズ5は集光手段を構成しており、被写体 12 から反射された二次光 RWD を集光する。本例では集光手段はレンズ5により構成されているがこれに限られるものではなく、スリットやピンホールを用いても良い。レンズ5の後側にはゲート付きイメージインテンシファイヤ（GII）6が配置されており光ゲート手段を構成する。このゲート付きイメージインテンシファイヤ6は二次光 RWD の通過光路中に介在し所定のゲート信号 GTS に同期して通過光のゲート処理を行ない、二次光 RWD に含まれる被写体の距離情報を抽出する。本例では光ゲート手段は集光レンズ5の後側に配置されているがこれに限られるものではなく、場合によっては集光レンズ5の前側に配置しても良い。なお、ゲート付きイメージインテンシファイヤ6には光ゲート制御回路7が接続されており、前述したクロック信号 CLK に基いてゲート信号 GTS を作成する。ゲート付きイメージインテンシファイヤ6には CCD イメージセンサ8が結合しており撮像手段を構成する。この CCD イメージセンサ8はゲート処理された二次光 RWD を受光して対応する画像信号 IMG を出力する。CCD イメージセンサ8には演算回路9が接続されており、画像信号 IMG を演算処理して被写体 12 の距離画像を合成する。なお、この演算処理は光ゲート制御回路7から供給される割り込み信号 ITR に応じて実行されるとともに、同じく光ゲート制御回路7から供給されるカウント信号 CNT を用いて画像信号 IMG を演算処理する。演算回路9は出力端子10を介してコンピュータ11に接続されている。コンピュータ11は被写体 12 の距離画像に基き様々な制御を行ないシステムを構成する。例えば被写体 12 がロボットアーム等の場合にはリアルタイムのロボット制御システムを構築できる。

【0011】図2は、図1に示した距離カメラ装置の動作説明に供するタイミングチャートである。図示する様に、クロック信号 CLK は間欠パルス列からなり、例えば所定の周期 T の間に6個のパルスを含んでいる。一方ゲート信号 GTS も間欠パルス列からなり、例えば所定の周期 T の間に5個のパルスを含む。各ゲートパルスには順に番号 K = 1, 2, 3, 4, 5 が付されている。前述した光ゲート制御回路7は例えばディレイカウンタ等から構成されており、クロック信号 CLK の遅延計数処理によりかかるゲート信号 GTS を生成する。クロック信号 CLK とゲート信号 GTS を比較すれば明らかな様

に、ゲート信号GTSの各パルスは番号Kが増加するにつれてクロック信号CLKの対応するパルスからの遅延量が増大する。かかるゲート信号GTSによりゲート付きイメージインテンシファイヤ6を開閉制御する事によりスライディング相関器を構成できる。

【0012】クロック信号CLKによりパルス変調された一次光FWDは対応するピークを含んでいる。従って、被写体12のA部から反射した二次光RWD Aも順次ピークを含んでいる。この際、装置本体から被写体12のA部までの距離に応じて、RWD Aのピークには所定の遅延量DAが発生する。同様に被写体12のB部から反射した二次光RWD Bにもその距離に応じて遅延量DBが生じる。前述した様に、B部はA部よりも遠距離にある為、遅延量DBもDAに比べて大きくなる。

【0013】第1番目のゲートパルスにตอบสนองして光ゲート手段が開いた時、二次光のA成分ピーク、B成分ピークともに遅延している為光ゲート手段を通過しない。2番目のゲートパルスに応じて光ゲート手段が開いた時、依然としてA成分ピーク、B成分ピークともに通過できない。しかしながら、ゲート開タイミングに近づいている。第3番目のゲートパルスに応じて光ゲート手段が開いた時、A成分ピークがタイミング的に一致し通過する。即ち、ゲート通過光にはこの時点でA成分ピークが含まれる事になる。続いて5番目のゲートパルスに応じて光ゲート手段が開いた時B成分ピークがタイミング的に一致し通過する。この時点でゲート通過光にB成分ピークが含まれる事になる。この様に、遅延量に応じてゲート通過時間が後方にシフトする為、二次光から距離情報を抽出する事が可能になる。ゲート通過光はCCDイメージセンサ8により逐次受光され対応する画像信号IMGに変換される。CCDイメージセンサ8に蓄積された画像信号IMGはカウント信号CNTに応じて逐次読み出される。このカウント信号CNTは前述したゲート信号GTSのパルス番号列からなる。

【0014】次に図3を参照して、図1に示した距離カメラ装置に含まれる演算回路9の動作を詳細に説明する。前述した様に光ゲート信号パルスが発生すると、割り込み信号ITRが光ゲート制御回路7から演算回路9に入力され所定の処理ルーチンが起動する。先ず最初にステップS1でカウント信号CNTからパルス番号Kを読み取る。なおパルス番号Kは1~5の数値をとり得る。次にステップS2において、CCDイメージセンサ8から画像信号IMGを読み込みフレームメモリに記録する。フレームメモリに記録された画像データをBUF(I, J, K)で表わす。但し、I, Jは全画素数をカバーする行番号及び列番号である。次にステップS3においてパルス番号Kが5に至ったかどうかを判断する。5未満の場合には次の光ゲート信号パルスの発生を待つ待機状態とする。次の光ゲート信号パルスが発生した場合には再び割り込み信号ITRが入力され前述したス

テップS1以降の処理を繰り返す。

【0015】一方パルス番号がK=5と判断された場合にはステップS4に進む。ここでは、各I, Jに対応する画素データにつき、Kを変化させた時の最大値を求めその時のKをフレームメモリに格納する。この様にして合成されたフレームメモリ上での画素データをZBUF(I, J)=Kで表わす。続いてステップS5に進む。ZBUFの内容は距離画像であるので、これをコンピュータ11に送出する。これにより一周期T分の演算処理が終了し待機状態に移行する。以上の説明から理解される様に、一周期Tにつき5個のフレームデータBUF(I, J, K)が得られる。各画素に着目すると5個の画像データが時系列的に得られた事になる。5個の画像データのうち最大値を有するものが光ゲート手段を通過した距離情報を含んでいる。前述した様にこの距離情報は最大値を得た時点でのパルス番号Kで表わされる為、これを全画素に渡って求めフレームデータZBUFを合成する事により距離画像が求められる。

【0016】図4は、図1に示したゲート付きイメージインテンシファイヤ6の具体的な構成例を示す断面図である。図示する様に集光レンズ5を通して入射した二次光RWDは入力面に被写体像21を結ぶ。入力面にはカソード22が設けられており光ゲートを構成する。カソード22の表面には半導体膜23が形成されており、受光された二次光RWDに応じた量の電子が放出される。こうして作成された電子像は光ゲートが開いている時に限りマイクロチャンネルプレート24に投影される。マイクロチャンネルプレート24の各チャンネルに入射した電子は数千倍に増倍される。さらにマイクロチャンネルプレート24から出力された電子は高電圧で加速され出力面に形成されている蛍光体膜25に衝突し光に変換される。こうして出力面には入力光のおよそ1万倍に及ぶ明るい画像が発生する。その後、明るく増強された出力像26をCCDイメージセンサ(図示せず)で撮像する。この際、光ファイバを多数束ね画像の二次元情報を1つの画面から別の面へと伝達できるファイバオプティックプレート27を介在させる事により、十分に明るい画面が得られる。

【0017】図5はマイクロチャンネルプレート24の微細構造を示す斜視図である。マイクロチャンネルプレート24は内壁を二次電子放出性を持つ材料で構成した極めて細いチャンネル28を多数束ねて、独立した二次電子倍増器を二次元的に配列した薄板状のデバイスである。図6に示す様に、各チャンネル28に入射した電子は、電子1個当たり1回のチャンネル壁面衝突により平均2個前後の二次電子を発生する。従って入射電子がチャンネルを通過する過程で複数回の壁面衝突を繰り返し、数千倍に増倍される。

【0018】図7は、図4に示したゲート付きイメージインテンシファイヤ6の光ゲート動作を説明する為の模

式図である。カソード 22 はマイクロチャンネルプレート 24 に対して抵抗 R を介して正電圧 VB でバイアスされている。又光ゲート制御回路 7 は容量 C を介してカソード 22 に接続されている。通常状態ではカソード 22 が抵抗 R を介して正にバイアスされている為、二次光 RWD の入射によって生じた電子は加速されずマイクロチャンネルプレート 24 に入射できない。これに対して、光ゲート制御回路 7 から大きな負電圧を有するゲートパルス GTS を印加すると、カソード 22 表面に発生した電子は大きな加速力を受けマイクロチャンネルプレート 24 に進入する。従って、出力面に形成されている蛍光体膜 25 に明るく増強された被写体像が現われる。一般に、光は十ナノ秒で 3 m 程度進む。従って光ゲートに要求される応答速度は数十ナノ秒である。この点、ゲート付きイメージンシファイヤは数ナノ秒程度で応答する為、実用上十分な分解能で距離画像を生成可能である。

【0019】図 8 は本発明にかかる距離カメラの第 2 実施例を示すブロック図である。基本的な構成は図 1 に示した第 1 実施例と同様であり、理解を容易にする為に対応する部分には対応する参照番号を付してある。異なる点は、先ずパルス発振器 1 の代わりに連続発振器 100 を用いた事である。この連続発振器 100 は例えば一定周期の正弦波形を有する基準信号 SIN を生成する。駆動回路 2 はこの正弦波基準信号 SIN に応じて発光ダイオード 3 を駆動し、連続変調された一次光をレンズ 4 を介して被写体 (図示せず) に投光する。又、図 1 に示した光ゲート制御回路 7 に代えて位相差発生回路 700 を用いている。位相差発生回路 700 は基準信号 SIN を遅延処理して 4 個の正弦波ゲート信号 GTS1, GTS2, GTS3, GTS4 を出力する。各ゲート信号の位相差は 90° に設定されている。例えば GTS1 の位相角を 0° とすると、GTS2 の位相角は 90° 、GTS3 の位相角は 180° 、GTS4 の位相角は 270° である。さらに、本実施例では CCD イメージセンサとゲート付きイメージンシファイヤ (GII) の結合を合計 4 組備えている。換言すると、光ゲート手段と撮像手段の結合は 4 組に空間分割されている。但し本発明はこれに限られるものではなく、空間分割に代えて時分割方式を用いても良い。GII61 と CCD81 からなる第 1 組は GTS1 に応じて光ゲート処理を行ない対応する画像信号 IMG1 を生成する。同様に GII62 と CCD82 からなる第 2 組は GTS2 に同期して光ゲート動作を行ない対応する画像信号 IMG2 を出力する。以下、GII63 と CCD83 からなる第 3 組、GII64 と CCD84 からなる第 4 組についても割り当てられたゲート信号の入力を受け対応する画像信号を出力する。本例では、4 個のゲート信号 GTS1 ~ GTS4 をパラレルに各 CCD と GII の組に供給しているが、前述した様に 1 組の GII と CCD に対して GTS1 ~ G

TS4 を時分割的に供給する事も可能である。これら 4 組の GII/CCD には演算回路 900 が接続されており、IMG1 ~ IMG4 を演算処理して距離画像を合成する。なお、被写体から反射した二次光 RWD は第 1 のビームスプリッタ 131 により 2 分割される。2 分割された一方の成分は第 2 のビームスプリッタ 132 により再分割され、各々 GII61, 62 に導かれる。又、第 1 のビームスプリッタ 131 により分割された他方の成分は第 3 のビームスプリッタ 133 により再び分割され、各々 GII63, GII64 に導かれる。

【0020】図 9 は、図 8 に示した距離カメラ装置の動作を説明する為のタイミングチャートである。図示する様に、基準信号 SIN は所定の周期の正弦波形を有し、一次光はこれに従って連続的に振幅変調される。被写体から反射した二次光 RWD は被写体表面の各点の距離に応じて様々に遅延した正弦波成分を有している。図では理解を容易にする為 1 個の正弦波成分のみを示している。さらに第 1 のゲート信号 GTS1 は基準信号 SIN と同相の正弦波形を有している。第 2 のゲート信号 GTS2 は第 1 のゲート信号 GTS1 に対して位相が 90° シフトしている。従って GTS1 を sin 波とすると GTS2 は cos 波となる。又 GTS3 は GTS1 に対して位相が反転している。同様に GTS4 は GTS2 に対して位相が反転している。従って GTS3 と GTS4 は互いに 90° の位相差を有する。

【0021】GII61 は GTS1 に同期して RWD のゲート処理を行ない、CCD81 は当該ゲート処理結果を所定の蓄積時間 T だけ蓄積する。従って、GII61 と CCD81 は互いに共働して二次光 RWD とゲート信号 GTS1 の積和演算を行なった事になる。同様に、GII62 と CCD82 の組は、二次光 RWD とゲート信号 GTS2 の積和演算を行なう事になる。かかる相関演算により、RWD に含まれる位相情報 (距離情報) は直交分解され一対の画像信号 IMG1, IMG2 として極めて高速且リアルタイムに得られる事になる。互いに直交する位相成分を演算する事により RWD の位相情報が得られる。

【0022】ところで光の強度は常に正の値をとるので、このままでは相関演算を行なう際の負の側の値を求める事ができず、直流成分を除去できない。そこで、本実施例では GTS1 に対して極性の反転した GTS3、及び GTS2 に対して極性の反転した GTS4 を利用し、同様な積和演算を実行する事により負側の位相成分を有する画像信号 IMG3, IMG4 を生成している。

【0023】最後に図 10 のフローチャートを参照して、図 8 に示した演算回路 900 の動作を詳細に説明する。CCD イメージセンサ 81 ~ 84 の蓄積時間 T が終了すると、先ず最初にステップ S11 において 4 個の CCD イメージセンサ 81 ~ 84 から夫々画像信号 IMG1 ~ IMG4 を読み出し、各々フレームメモリ上に記録

する。これら記録された画像データを BUF 1 (I, J), BUF 2 (I, J), BUF 3 (I, J), BUF 4 (I, J) で表わす。但し、I, J は全画素数をカバーする全ての行番号及び列番号を示す。

【0024】次にステップ S 1 2 において、各対応する I, J に対して BUF 1 (I, J) - BUF 3 (I, J) を演算し PBUF (I, J) を求める。同様に、BUF 2 (I, J) - BUF 4 (I, J) を演算し QBUF (I, J) を求める。これら PBUF (I, J) 及び QBUF (I, J) からは各々直流成分が除去された事

になる。

【0025】続いてステップ S 1 3 に移る。PBUF と QBUF は直交する位相成分の強度が入っているので、この値から位相角つまり距離を求める事ができる。具体的には、各対応する I, J に対して、 $ZBUF(I, J) = \arctan(PBUF(I, J) / QBUF(I, J))$ を演算する。ZBUF の内容は距離画像そのものである。ステップ S 1 4 においてこれをコンピュータへ送出する。

【0026】

【発明の効果】以上説明した様に、本発明によれば基準信号に従って変調された一次光を三次元被写体に対して投光するとともに、光ゲート手段と撮像手段によって物体から反射された二次光の位相を検出し、撮像手段の各画素に写る被写体各部の距離情報を求める事により、小型で簡便な距離カメラ装置を実現でき、遠距離にある物体の三次元形状を精度良く検出できるという効果がある。又、光ゲート手段と撮像手段を 2 組用いて、位相検出における相関演算の負側の演算も行なう事により、直流成分を除去し、高精度の位相検出を可能にするという効果がある。さらに、光ゲート手段と撮像手段を 4 組用いて、直交する位相成分の値をも求め、これらの値の比から位相を検出する事により、より高精度の距離画像撮影を短時間でこなえるので、距離カメラ装置のリアルタイム性をさらに高める事ができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明にかかる距離カメラ装置の第 1 実施例を示すブロック図である。

【図 2】第 1 実施例の動作説明に供するタイミングチャートである。

【図 3】第 1 実施例の動作説明に供するフローチャートである。

【図 4】ゲート付きイメージインテンシファイヤの具体的な構成例を示す断面図である。

10 【図 5】ゲート付きイメージインテンシファイヤの構造説明に供する斜視図である。

【図 6】同じくゲート付きイメージインテンシファイヤの機能説明に供する断面図である。

【図 7】同じくゲート付きイメージインテンシファイヤの動作説明に供する回路図である。

【図 8】本発明にかかる距離カメラ装置の第 2 実施例を示すブロック図である。

【図 9】第 2 実施例の動作説明に供するタイミングチャートである。

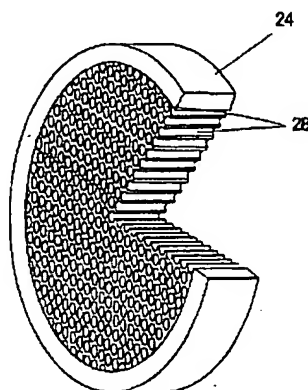
20 【図 10】第 2 実施例の動作説明に供するフローチャートである。

【図 11】従来の距離カメラ装置の一例を示すブロック図である。

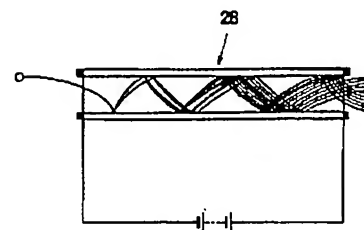
【符号の説明】

- | | |
|------|--------------------|
| 1 | パルス発振器 |
| 2 | 駆動回路 |
| 3 | 発光ダイオード |
| 4 | レンズ |
| 5 | レンズ |
| 30 6 | ゲート付きイメージインテンシファイヤ |
| 7 | 光ゲート制御回路 |
| 8 | CCD イメージセンサ |
| 9 | 演算回路 |
| 11 | コンピュータ |
| 12 | 被写体 |

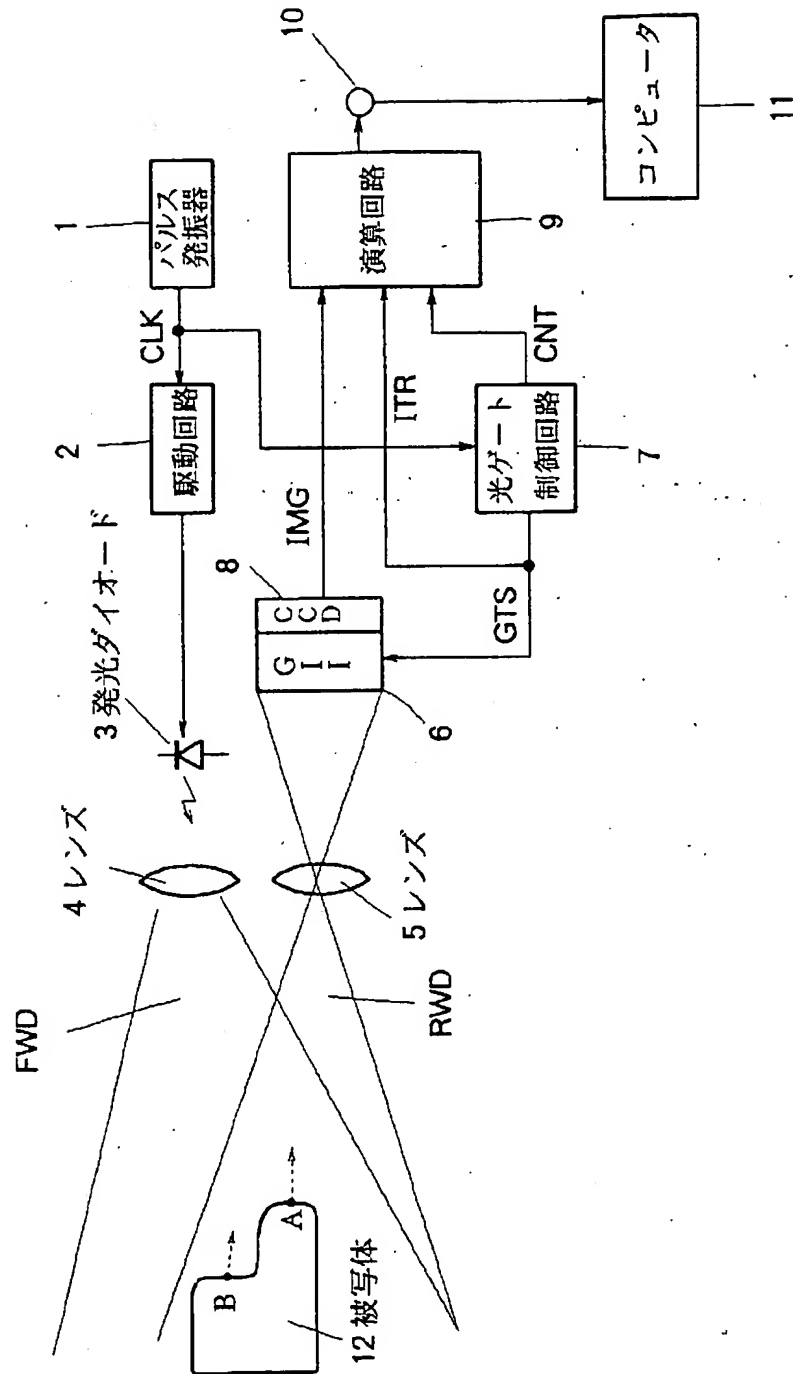
【図 5】



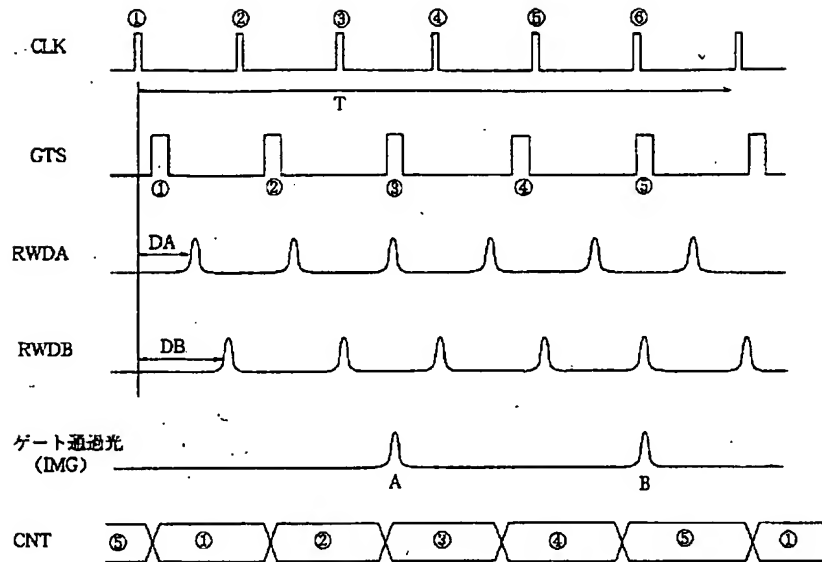
【図 6】



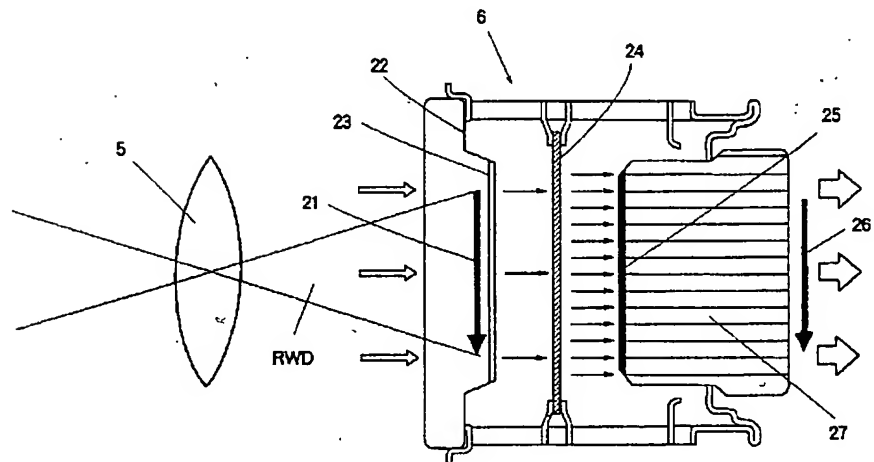
【図1】



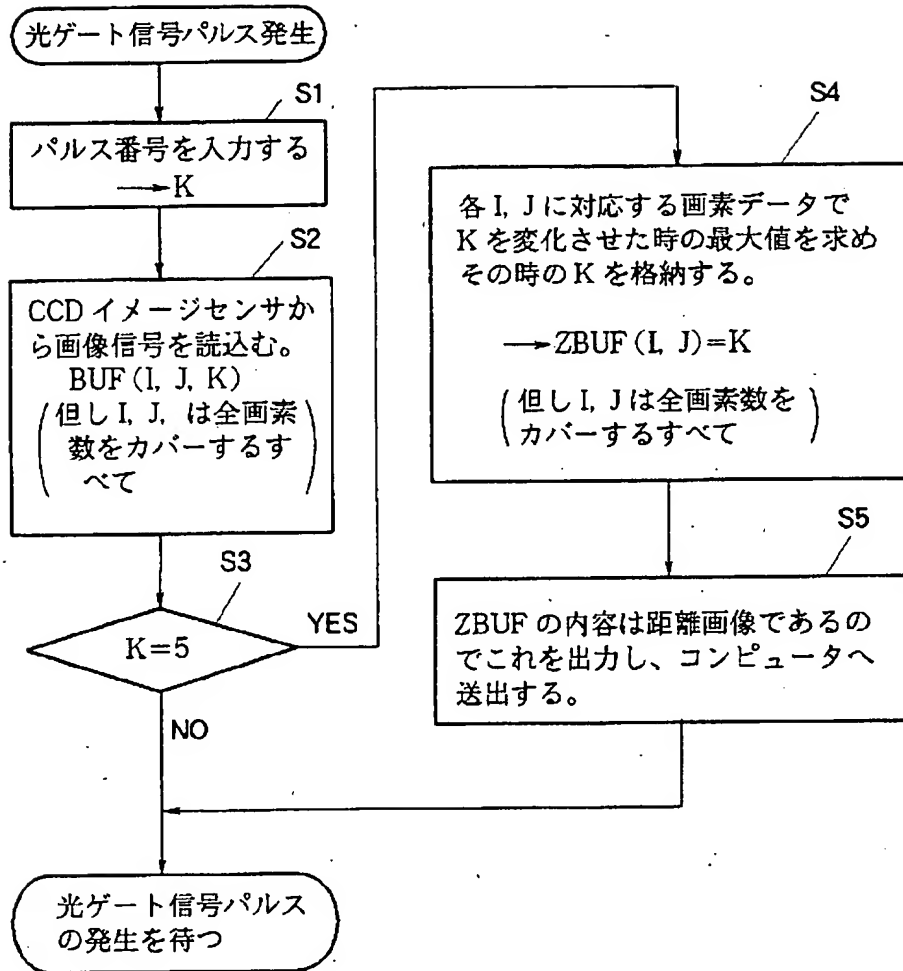
【図 2】



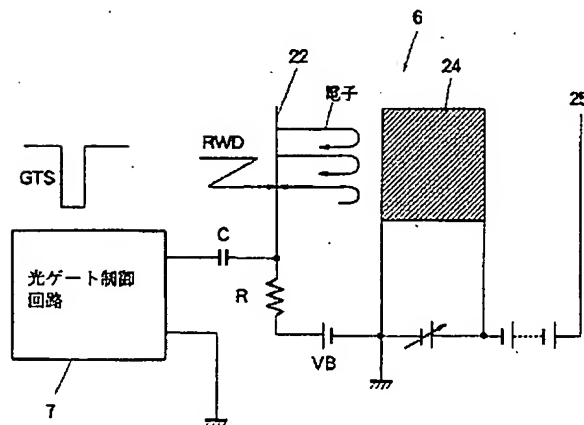
【図 4】



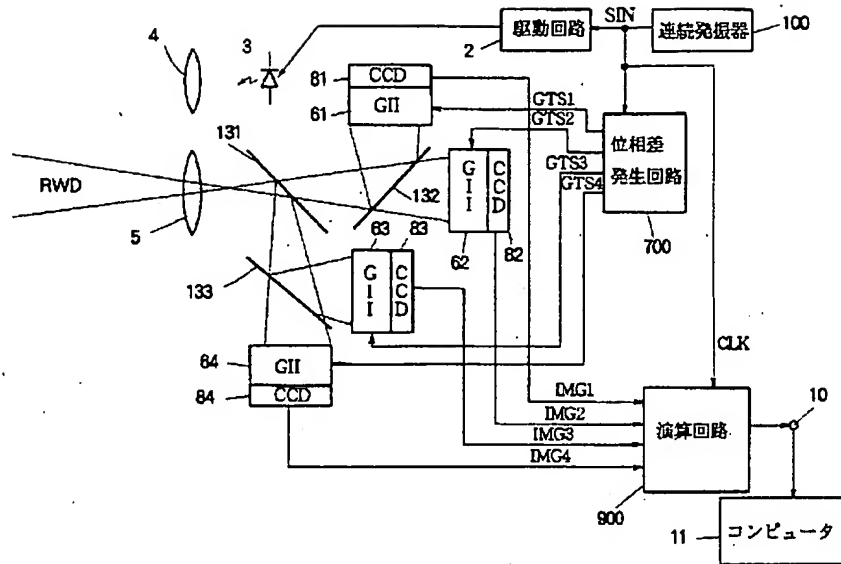
【図3】



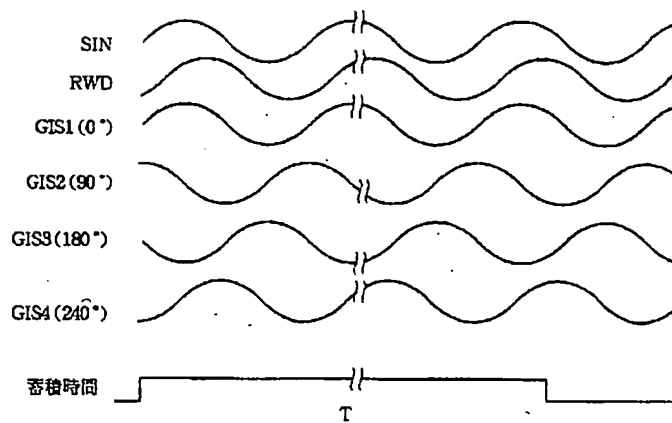
【図7】



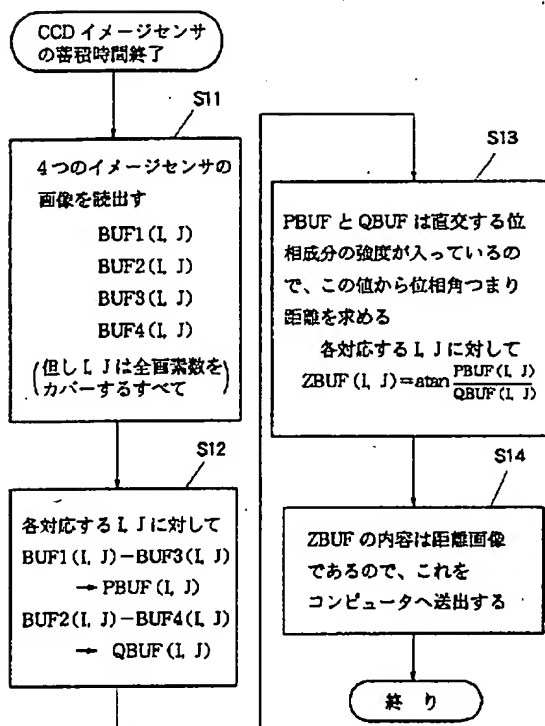
【図 8】



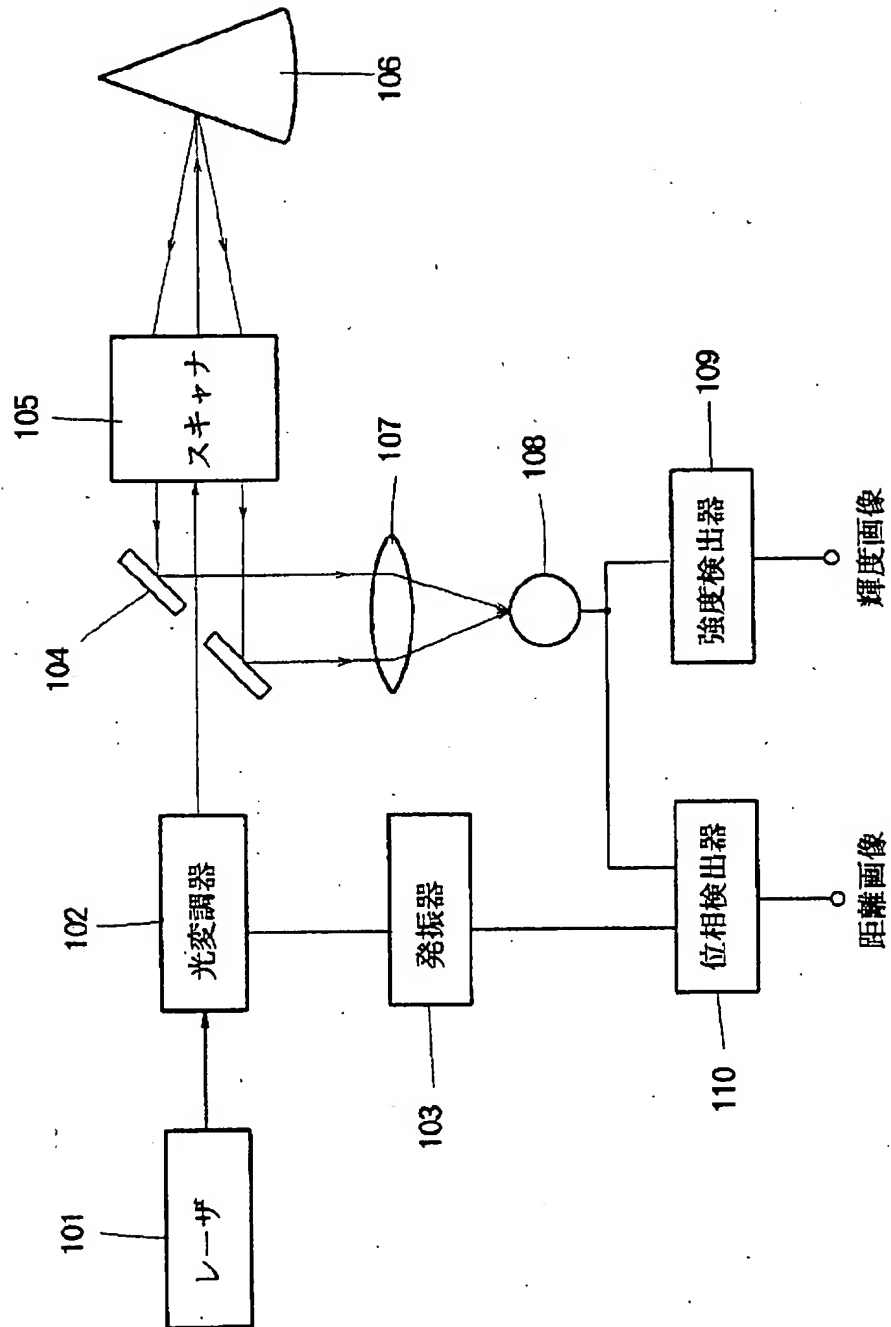
【図 9】



【図 10】



【図 11】



Range Camera

Japanese Laid-open Patent No. Hei-7-110381

Laid open on: April 25, 1995

Application No. Hei-5-277626

Filed on: October 7, 1993

Inventor: Yasuji OGAWA

Applicant: Kabushiki Kaisha Wakomu

Patent Attorney: Harutoshi SUZUKI

SPECIFICATION

[TITLE OF THE INVENTION] Range Camera

[ABSTRACT]

[Object] To photograph a range image of a three-dimensional subject in real time with high accuracy.

[Composition] A range camera comprises a pulse oscillator 1 for producing given reference signal CLK as the time reference. A light-emitting diode 3 emits primary light FWD modulated in accordance with the reference signal CLK to irradiate a target three-dimensional subject 12. Lens 5 allows the secondary light RWD reflected by the subject 12 to converge. An image intensifier with a gate 6 is arranged in the optical path through which the secondary light RWD passes to perform gate-processing of the passing light in synchronization with the gate signal GTS produced in accordance with the reference signal CLK in order to pick up information on the distance of the subject 12 included in the secondary light RWD. A CCD image sensor 8 receives the gate-processed secondary RWD to output image signal IMG corresponding thereto. An operational circuit 9 operates the image signal IMG to synthesize range images of the subject 12 and then sends the images to a computer 11.

[WHAT IS CLAIMED IS:]

[Claim 1] A range camera comprising:

an oscillating means for producing predetermined reference signals as time reference,

a light projecting means for emitting primary light modified in accordance with said reference signal to irradiate a targeted three-dimensional subject with the primary light,

a light convergence means for allowing the secondary light reflected by said subject to converge,

an optical gate means arranged in the optical path of said secondary light to perform gate-processing of the passing light in synchronization with the gate signal produced in accordance with said reference signal in order to pick up information on the distance of the subject included in said secondary light,

an image pick-up means for receiving said gate-processed secondary light to output corresponding image signals, and

an operational means for operating said image signals to synthesize range images of said subject.

[Claim 2] The range camera according to Claim 1, wherein said optical gate means performs gate-processing of passing light in a space-division-wise manner or time-division-wise manner in synchronization with a pair of gate signals which have a phase difference of 90 degrees relative to each other to pick up information on the distance comprising phase components which are orthogonal to each other.

[Claim 3] The range camera according to Claim 1 or 2, wherein said optical gate means performs gate-processing of passing light in a space-division-wise manner or time-division-wise manner in synchronization with a pair of gate signals which have a phase difference of 180 degrees relative to each other to pick up information on the distance comprising a pair of negative and positive phase components.

[Claim 4] The range camera according to Claim 1, wherein said light projecting means projects primary light modulated intermittently, while said optical gate means performs gate-processing of secondary light in synchronization with the intermittent gate signals to pick up information on the distance.

[Claim 5] The range camera according to Claim 1, wherein said light projecting means projects primary light modulated continuously, while said optical gate means performs gate-processing of secondary light in synchronization with the continuous gate signals to pick up information on the distance.

[Claim 6] The range camera according to Claim 1, wherein said image pick-up means is of a storage type and coacts with said optical gate means to perform sum-of-product equivalent operations between secondary light and gate signals to pick up information on the distance.

[DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION]

[0001]

[Field of the Invention]

The present invention relates to a range camera that detects the three-dimensional shape of an object with no contact therewith and, more particularly, to a range camera that is suitable for picking up range images of an object located

at a distant location in real time.

[0002]

[Prior Arts] A prior art range camera projected light for illuminating an object at a certain angle of incidence, and the reflected light was received by means of an image pick-up device, thereby allowing for detecting the three-dimensional shape of the object in accordance with the angles of the incident light and the reflected light. That is, the principle of triangulation was employed. The foregoing range camera had disadvantages of being unable to ensure measurement accuracy if a light projector and a light receiver were sufficiently placed apart from each other when the object was far away from the camera, thus impairing usability for measuring a distant object.

[0003] With respect to the foregoing prior art, a technique for determining the range image of an object by adopting the speed of light is known and disclosed, for example, in Japanese Patent Laid-Open Publication No. Hei-1-100492. As shown in Fig. 11, this prior art example modifies the intensity of the output light from laser 101 by means of optical modulator 102 that is driven by oscillator 103. An intensity-modulated laser beam passes through the opening of aperture mirror 104 to irradiate an object 106 by means of scanner 105. The light scattered by the object 106 passes through the scanner 105 to be reflected by the aperture mirror 104, and is then converged into optical detector 108 via convergence lens 107. The optical detector 108 converts the converged light into information signals. The amplitude of an information signal varies according to the reflectivity of the object 106 for the laser beam and the distance to the object. Accordingly, detecting the intensity of the information signal by means of intensity detector 109 and scanning the laser beam by means of the scanner 105 provide for an image with a brightness similar to that obtained by means of television cameras. In addition, the phases of the information signal delays in proportion to the distance to the object 106. Therefore, measuring the difference in phase between the information signal and the reference signal from the oscillator 103 by using phase detector 110 allows for determining the distance to the object 106. Distance L is given by $L = c\phi / (4\pi f)$, where ϕ is a phase difference, c is the speed of light, and f is an intensity modulation frequency of the laser beam. Laser beam scanning by the scanner 105 provides for a range image other than the aforementioned brightness image.

[0004]

[Themes to be Solved by the Invention]

The aforementioned technique of employing the speed of light is, in principle, to detect the three-dimensional coordinates of a point on which a laser beam is focused.

Accordingly, there was a problem in that it took a long time to take one photograph of a range image because the laser beam had to be scanned on the surface of an object and three-dimensional coordinates had to be operated for each point to determine a range image of the three-dimensional object. For this reason, it was difficult to pick up a range image of a moving object in real time.

[0005]

[Means for Solving Themes] In view of the aforementioned prior art problem, the object of the present invention is to provide a high-speed range camera which allows for picking up range images of an object located at a distant location in real time. To achieve the object, the means mentioned below have been employed. That is, the range camera of the present invention comprises principal components such as an oscillating means, a light projecting means, a light convergence means, an optical gate means, an image pick-up means, and an operational means. The oscillating means produces predetermined reference signals that are the time reference. The light projecting means emits the primary light modified in accordance with said reference signal to irradiate a targeted three-dimensional subject with the primary light. The light convergence means allows the secondary light reflected by said subject to converge. The optical gate means is arranged in the optical path of said secondary light to perform gate-processing of the passing light in synchronization with the gate signal produced in accordance with said reference signal in order to pick up information on the distance of the subject included in said secondary light. The image pick-up means receives said gate-processed secondary light to output the corresponding image signals. The operational means operates said image signals to synthesize the range image of said subject.

[0006] Preferably, said optical gate means performs gate-processing of passing light in a space-division-wise or time-division-wise manner in synchronization with a pair of gate signals which have a phase difference of 90 degrees relative to each other in order to pick up information on the distance comprising phase components which are orthogonal to each other. Alternatively, said optical gate means may perform gate-processing of passing light in a space-division-wise or time-division-wise manner in synchronization with a pair of gate signals which have a phase difference of 180 degrees relative to each other in order to pick up information on the distance comprising a pair of positive and negative phase components.

[0007] More preferably, said light projecting means projects the primary light which is intermittently modulated (pulse modulated), while said light gate means performs gate-processing of the secondary light in synchronization with the intermittent gate

signal in order to pick up information on the distance. Alternatively, said light projecting means may project the primary light which is continuously modulated (e.g., amplitude modulated), while said optical gate means performs gate-processing of the secondary light in synchronization with the continuous gate signal to pick up information on the distance. In this case, an accumulative image pick-up means (e.g., a CCD image sensor) may preferably be adopted as said image pick-up means, and cooperates with said optical gate means to perform sum-of-product equivalent operations between the secondary light and the gate signal in order to determine information on correlation distance.

[0008]

[Action] According to the present invention, the primary light comprising modulated light waves is used for irradiating a subject. The secondary light rays reflected by the subject cause phase delay to occur according to the distance of each point and thus include information on the distance. The secondary light rays are gate-processed by means of an optical gate means operable at a high speed to selectively pick up information on the distance (phase information). The image pick-up means comprises, for example, a CCD image sensor for storing information on distance for each pixel. This allows for detecting range images of a three-dimensional subject located at a distant location with high accuracy and in real time. The CCD image sensor itself does not respond so quickly as to be able to detect the phase of light waves. For this reason, the present invention provides for a high-speed optical gate means in front of the image pick-up means comprising a CCD image sensor in order to detect the phase of light waves. For this purpose, a pair of gate signals which have a phase difference of 180 degrees relative to each other is used for controlling the switching of the optical gate means in order to pick up information on the distance comprising a pair of negative and positive phase components. This allows for operating the negative side of the correlation operation at the time of phase detection, and thus allows for eliminating DC components to detect phases with high accuracy. Moreover, a pair of gate signals which have a phase difference of 90 degrees relative to each other are used for controlling the switching of the optical gate means in order to pick up information on the distance comprising phase components which are orthogonal to each other. Taking a ratio of these mutually orthogonal phase components allows for performing phase detection with higher accuracy in a shorter time.

[0009]

[Embodiments] Referring to the drawings, the preferred embodiments of the present

invention will be explained in detail below. Fig. 1 is a block diagram illustrating a first embodiment of a range camera relating to the present invention. As shown in the figure, the range camera has an oscillating means comprising a pulse oscillator 1 to produce a predetermined clock signal CLK (reference signal) which is used as the time reference. The range camera also has a light projecting means, which comprises a drive circuit 2, a light emitting diode 3, and a lens 4, for emitting primary light rays FWD that are intermittently modulated (pulse modulated) with reference to the clock signal CLK to irradiate a targeted three-dimensional subject 12. The subject 12 has, for example, portion A that is located comparatively near to and portion B that is located comparatively far away from the main body of the camera.

[0010] On the other hand, a lens 5 constitutes a light converging means for converging secondary light rays RWD reflected from the subject 12. In the present example, the light converging means comprises the lens 5 but is not limited thereto and may comprise a slit or a pin hole. There is provided, on the rear side of the lens 5, an image intensifier with a gate (GII) 6 that constitutes an optical gate means. The image intensifier with a gate 6 is arranged in the optical path of the secondary light rays RWD for gate processing the passing light in synchronization with a predetermined gate signal GTS to pick up information on the distance of the subject from the secondary light rays RWD. The present example comprises the optical gate means arranged at, but not limited to, the rear side of the convergence lens 5 and may be arranged at the front side of the convergence lens 5 as required. The image intensifier with a gate 6 is connected with an optical gate control circuit 7 for preparing the gate signal GTS in accordance with the aforementioned clock signal CLK. The image intensifier with a gate 6 has coupled thereto a CCD image sensor 8 for constituting an image pick-up means. The CCD image sensor receives gate-processed secondary light rays RWD to output the corresponding image signal IMG. The CCD image sensor 8 is connected with an operational circuit 9 for operating the image signal IMG to synthesize range images of the subject 12. The operation is performed in response to an interruption signal ITR that is supplied from the optical gate control circuit 7 and is performed for processing the image signal IMG by using a count signal CNT that is also supplied from the optical gate control circuit 7. The operational circuit 9 is connected to a computer 11 via an output terminal 10. The computer 11 performs various controls in accordance with range images of the subject 12 and thus constitutes the system. For example, a real-time robot control system may be constituted in the case where the subject 12 is a robot arm.

[0011] Fig. 2 is a timing chart for use in explanation of the operation of the range camera shown in Fig. 1. As shown in the figure, the clock signal CLK comprises a train of intermittent pulses and includes, for example, six pulses in a given period T. On the other hand, the gate signal GTS comprises a train of intermittent pulses and includes, for example, five pulses in a given period T. Each of the gate pulses are numbered $K=1, 2, 3, 4,$ and 5 in sequence. The aforementioned optical gate control circuit comprises, for example, a delay counter for producing the gate signal GTS by the delay count processing of the clock signal CLK. As can be seen clearly by the comparison of the clock signal CLK and the gate signal GTS, each pulse of the gate signal GTS increases the amount of delay from the pulse corresponding to the clock signal with the increasing number K. The image intensifier with a gate 6 is switched by means of the gate signal GTS, thereby constituting a sliding correlator.

[0012] The primary light rays FWD which are pulse modulated by the clock signal CLK include the corresponding peaks. Accordingly, the secondary light rays RWDA that have been reflected by portion A of the subject 12 include peaks in sequence. At this time, the peaks of RWDA will have a given amount of delay DA in accordance with the distance from the main body of the unit to portion A of the subject 12. Similarly, the secondary light rays RWDB that have been reflected by portion B of the subject 12 will have a given amount of delay DB in accordance with the distance. As mentioned in the foregoing, portion B is located farther than portion A, so that the amount of delay DB is greater than DA.

[0013] When the optical gate means opens in response to the first gate pulse, both the A component peak and B component peak of the secondary light rays are delayed and thus not allowed to pass through the optical gate means. When the optical gate means opens in response to the second gate pulse, both the A component peak and B component peak are still not allowed to pass through. However, the time for the opening gate is coming. When the optical gate means has opened in response to the third gate pulse, the A component peak passes through in perfect timing. That is, the gate passing light includes the A component peak at this time. When the optical gate means has opened in response to the fifth gate pulse, the B component peak passes through in perfect timing. That is, the gate passing light includes the B component peak at this time. In this way, the time of passing through the gate is shifted backward in accordance with the amount of delay, so that information on the distance can be picked up from the secondary light rays. The gate passing light is received sequentially by means of the CCD image sensor 8 and converted into the corresponding image signal IMG. The image signal IMG stored in the CCD image sensor 8 is read out sequentially

in response to the count signal CNT. This count signal CNT comprises the pulse number train of the aforementioned gate signal GTS.

[0014] Now, referring to Fig. 3, the operation of the operational circuit 9 included in the range camera shown in Fig. 1 will be explained in detail. As mentioned in the foregoing, generation of an optical gate signal pulse causes the interruption signal ITR to be inputted from the optical gate control circuit 7 to the operational circuit 9 in order to start up a predetermined processing routine. First, at step S1, pulse number K is read from the count signal CNT. The pulse number K can take numerals ranging from 1 to 5. Then, at step S2, the image signal IMG is read from the CCD image sensor 8 and stored in a frame memory. The image data stored in the frame memory is expressed by BUF (I, J, K), where I and J are the row and column number that cover all the pixel numbers. Then, at step S3, it is determined whether or not pulse number K has reached 5. If K is less than 5, a standby state is maintained waiting for the subsequent optical gate signal pulse to be produced. When the subsequent optical gate signal pulse is produced, the interruption signal ITR is inputted again to repeat the aforementioned steps after step S1.

[0015] On the other hand, if it is determined that pulse number K=5, step S4 is performed. In this step, the value of K is varied to determine the maximum value of pixel data corresponding to each I and J, and the value of K corresponding to the maximum value is stored in the frame memory. Pixel data on the frame memory, synthesized in this way, is expressed as ZBUF (I, J) = K. Subsequently, step S5 is performed. The contents of ZBUF are range images that are sent to the computer 11. This completes operation over one period T and a standby state is maintained. As can be seen in the foregoing explanation, five frame data BUF (I, J, K) are obtained over one period T. Focusing on each pixel, five image data have been obtained in time sequence. The image data having the maximum value out of five image data contains information on the distance that has passed through the optical gate means. As mentioned in the foregoing, this information on the distance is expressed by K at the time the maximum value has been obtained, so that a range image is determined by determining K over all pixels and synthesizing frame data ZBUF.

[0016] Fig. 4 is a cross sectional view showing a specific example of configuration of the image intensifier with a gate 6 shown in Fig. 1. As shown in the figure, the secondary light rays RWD incident through the convergence lens 5 forms a subject image 21 on an input plane. The input plane is provided with a cathode 22 to constitute an optical gate. The cathode 22 is provided, on the surface thereof, with a semiconductor film 23 to emit an amount of electrons corresponding to the secondary

light rays RWD received. An electronic image thus formed is projected onto a microchannel plate 24 only when the optical gate is open. Electrons launched into each channel of the microchannel plate 24 are multiplied a few thousand times. Moreover, electrons outputted from the microchannel plate 24 are accelerated with high voltage and collide with a fluorescent film 25 formed on the output plane to be converted into light. Accordingly, on the output plane is formed a bright image which is approximately 10,000 times brighter than the input light. Subsequently, a CCD image sensor (not shown) picks up a brightly intensified output image 26. At this time, a fiber optic plate 27, made of a number of bundled optical fibers, is arranged which transfers two-dimensional information on an image from one screen to another, thereby providing a sufficiently bright screen.

[0017] Fig. 5 is a perspective view showing a fine structure of the microchannel plate 24. The microchannel plate 24 is a thin-plate device which has a number of extremely fine channels 28 formed in a bundle and made up of a material having secondary electron emissivity, and has independent secondary electron multipliers arranged in two dimensions. As shown in Fig. 6, electrons launched into each channel 28 produce an average of approximately two secondary electrons per one electron and per one collision with the channel wall. Accordingly, incident electrons repeat collisions with the wall surface a plurality of times during passing through the channel and are multiplied a few thousand times.

[0018] Fig. 7 is a schematic diagram for explaining the optical gate operation of the image intensifier with a gate 6 shown in Fig. 4. The cathode 22 is biased by positive voltage V_B via resistor R relative to the microchannel plate 24. In addition, the optical gate control circuit 7 is connected to the cathode 22 via capacitor C. Since the cathode 22 is forward biased via resistor R under normal conditions, electrons produced by the incidence of the secondary light rays RWD are not accelerated and thus cannot be launched into the microchannel plate 24. On the contrary, applying the gate pulse GTS having a large negative voltage from the optical gate control circuit 7 causes the electrons produced on the surface of the cathode 22 to be subject to a great accelerating force the flow into the microchannel plate 24. Generally, the light progresses about 3 meters in a few tens of nanoseconds. Therefore, a brightly intensified subject image will appear on the fluorescent film 25 formed on the output plane. Therefore, the speed of response required for the optical gate is a few tens of nanoseconds. At this point, the image intensifier with a gate responds in a few nanoseconds, thereby allowing for producing range images with a practically sufficient resolution.

[0019] Fig. 8 is a block diagram showing a second embodiment of a range camera relating to the present invention. The basic structure is similar to that of the first embodiment shown in Fig. 1 and the corresponding portions are given the corresponding numbers to facilitate the understanding thereof. What is different is, first, in that a continuous oscillator 100 is employed instead of the pulse oscillator 1. The continuous oscillator 100 produces, for example, a reference signal SIN having a sinusoidal wave of a fixed period. A drive circuit 2 drives the emitting diode 3 in response to the sinusoidal reference signal SIN and projects the primary light ray continuously modulated to a subject (not shown) via the lens 4. Moreover, a phase difference generator circuit 700 is employed instead of the optical gate control circuit 7. The phase difference generator circuit 700 delay-processes the reference signal SIN to output four sinusoidal gate signals GTS1, GTS2, GTS3, and GTS4. The phase difference of each gate signal is set to 90° . For example, if the phase angle of GTS1 is equal to 0° , the phase angle of GTS2 is 90° , the phase angle of GTS3 is 180° , and the phase angle of GTS4 is 240° . Moreover, the present embodiment is provided with a total of four pairs of couplings between the CCD image sensor and the image intensifier with a gate (GII). In other words, the coupling between the optical gate means and the image pick-up means is space-divided in four pairs. However, the present invention is not limited to this, but the time-division scheme may be employed instead of the space-division scheme. The first pair comprising GII61 and CCD 81 performs optical gate processing in response to GTS1 to produce the corresponding image signal IMG1. Similarly, the second pair comprising GII62 and CCD 82 performs optical gate operations in synchronization with GTS2 to output the corresponding image signal IMG2. In the same way, the third pair comprising GII63 and CCD 83, and the fourth pair comprising GII64 and CCD 84 receive assigned gate signals to output corresponding image signals. In the present example, four gate signals GTS1 through GTS4 are supplied to each pair of CCD and GII in parallel, however, it is also possible to supply GTS1 through GTS4 to a pair of GII and CCD in a manner of time-division as mentioned in the foregoing. These four pairs of GII/CCD are connected with an operational circuit 900 for operating IMG1 through IMG4 to synthesize range images. The secondary light ray RWD reflected from the subject is split into two by means of a first beam splitter 131. One component of the split light rays is split again by means of a second beam splitter 132 to be guided to GII61 and GII62, respectively. In addition, the other component split by means of the first beam splitter is split again by means of a third beam splitter 133 to be guided to GII63 and GII64, respectively.

[0020] Fig. 9 is a timing chart for explaining the operation of the range camera shown in Fig. 8. As shown in the figure, the reference signal SIN has a sinusoidal waveform of a given period by which the primary light is continuously amplitude-modulated. The secondary light ray RWD reflected by the subject has sinusoidal wave components with various delays corresponding to the distance of each point on the subject surface. The figure shows only one sinusoidal wave component to facilitate the understanding thereof. Moreover, the first gate signal GTS1 has a sinusoidal wave form of the same phase as the reference signal SIN. The second gate signal GTS2 has a phase shifted by 90 degrees relative to the first gate signal GTS1. Accordingly, if GTS1 is a sinusoidal wave, then GTS2 is a cosine wave. Moreover, GTS3 has a phase inverted relative to GTS1. Similarly, GTS4 has a phase inverted relative to GTS2. Therefore, GTS3 and GTS4 have a phase difference of 90 degrees with each other.

[0021] GII61 performs gate processing of RWD in synchronization with GTS1, and CCD81 stores said gate-processed results for a period of predetermined storage time T. Therefore, it can be said that GII61 and CCD81 have cooperated with each other to perform the sum-of-product operations of the secondary light ray RWD and gate signal GTS1. Similarly, the pair of GII62 and CCD82 is to perform the sum-of-product operations of the secondary light ray RWD and gate signal GTS2. Such correlation operations allow the phase information (distance information) included in RDW to be orthogonally decomposed into a pair of image signals IMG1 and IMG2, which is provided at an extremely high speed and in real time. Operating phase components orthogonal to each other provides for phase information of RWD.

[0022] Since the intensity of light always takes a positive value, leaving it as it is never allows for determining a negative value in the correlation operation, thus never allowing for eliminating DC components. Accordingly, the present embodiment employs GTS3 of which polarity is inverted relative to GTS1 and GTS4 of which polarity is inverted relative to GTS2, performing similar sum-of-product operations to produce image signals IMG3 and IMG4 both of which have negative phase components.

[0023] Finally, referring to the flowchart of Fig. 10, the operation of the operational circuit 900 shown in Fig. 8 will be explained in detail. First, when storage time T of CCD image sensors 81 through 84 is over, image signals IMG1 to IMG4 are read from the four CCD image sensors 81 through 84, respectively, to be stored in each frame memory at step S11. These stored image data are expressed as BUF1 (I, J), BUF2 (I, J), BUF3 (I, J), and BUF4 (I, J), where I and J are the row and column number that cover all pixels.

[0024] Then, at step S12, for each corresponding I and J, $\text{BUF1 (I, J)} - \text{BUF3 (I, J)}$

is operated to determine $PBUF(I, J)$. Similarly, $BUF2(I, J) - BUF4(I, J)$ is operated to determine $QBUF(I, J)$. It can be said that DC components have been eliminated in $PBUF(I, J)$ and $QBUF(I, J)$, respectively.

[0025] Subsequently, it proceeds with step S13. $PBUF$ and $QBUF$ contains the intensity of orthogonal phase components, so that the value allows for determining phase angle or distance. Specifically, for each corresponding I and J , $ZBUF(I, J) = \text{atan}(PBUF(I, J) / QBUF(I, J))$ is operated. The contents of $ZBUF$ are the representation of range image, being sent to the computer at step S14.

[0026]

[EFFECT OF THE INVENTION] As explained in the foregoing, the present invention provides for effects in that the primary light ray modified in accordance with a reference signal is projected to a three-dimensional subject, an optical gate means, the image pick-up means detects the phase of the secondary light reflected by the subject, and distance information on each portion of the subject formed on each pixel of the image pick-up means is determined; thereby allowing for realizing a small and simple range camera and for detecting with high accuracy the three-dimensional shape of an object at a distant location. Furthermore, such an effect is provided in that two pairs of an optical gate means and the image pick-up means are used to perform the negative-side correlation operation in phase detection, thereby allowing for eliminating DC components and for detecting phases with high accuracy. Still furthermore, such an effect is provided in that four pairs of an optical gate means and an image pick-up means are used for determining values of orthogonal phase components to detect phases in accordance with the values, thereby allowing for photographing range images with higher accuracy and in a short time, so that the real-time property of a range camera can be further increased.

[BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS]

[Fig. 1] is a block diagram illustrating a first embodiment of a range camera relating to the present invention.

[Fig. 2] is a timing chart for use in explanation of the operation of the first embodiment.

[Fig. 3] is a flowchart for use in explanation of the operation of the first embodiment.

[Fig. 4] is a cross sectional view showing a specific example of configuration of an image intensifier with a gate.

[Fig. 5] is a perspective view for use in explanation of the structure of the image intensifier with a gate.

[Fig. 6] is a cross sectional view similarly for use in explanation of function of the image intensifier with a gate.

[Fig. 7] is a circuit diagram similarly for use in explanation of the operation of the intensifier with a gate.

[Fig. 8] is a block diagram showing a second embodiment of a range camera relating to the present invention.

[Fig. 9] is a timing chart for use in explanation of the operation of the second embodiment.

[Fig. 10] is a flowchart for use in explanation of the operation of the second embodiment.

[Fig. 11] is a block diagram illustrating an example of a prior art range camera.

[Description of Symbols]

- 1 Pulse oscillator
- 2 Drive circuit
- 3 Light-emitting diode
- 4 Lens
- 5 Lens
- 6 Image intensifier with a gate
- 7 Optical gate control circuit
- 8 CCD image sensor
- 9 Operation circuit
- 11 Computer
- 12 Subject

[Fig. 2]

Gate passing light

[Fig. 7]

Electron

Optical gate control circuit

[Fig 9]

Storage time

[Fig. 1]

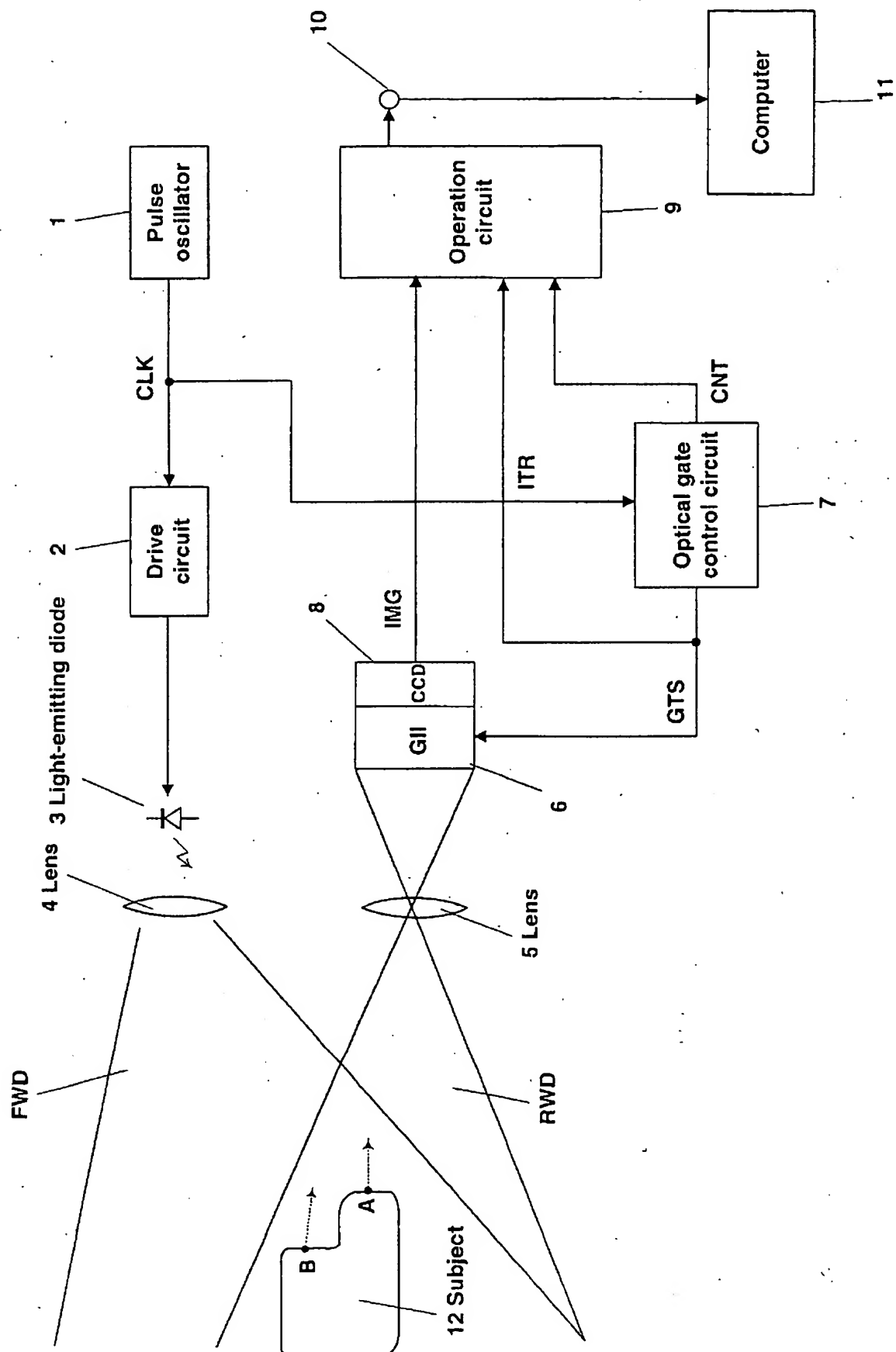


FIG. 2

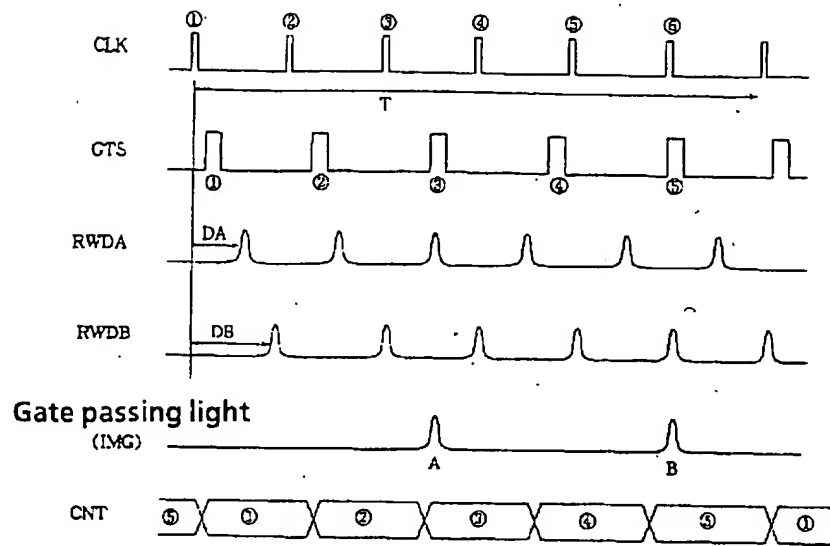
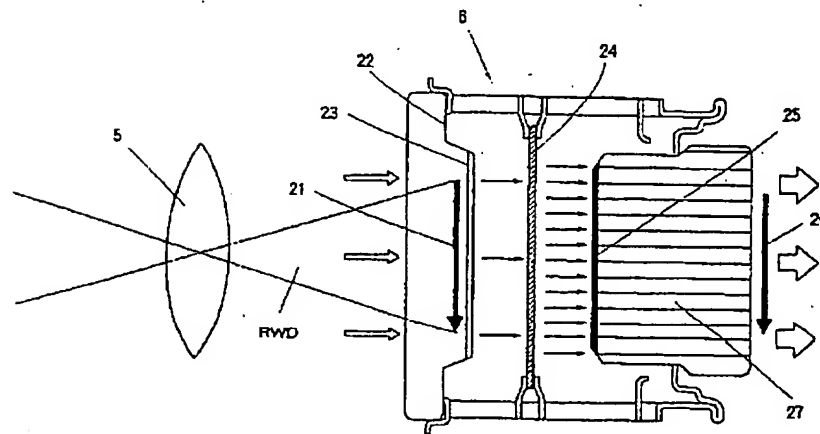


FIG. 4



[Fig. 3]

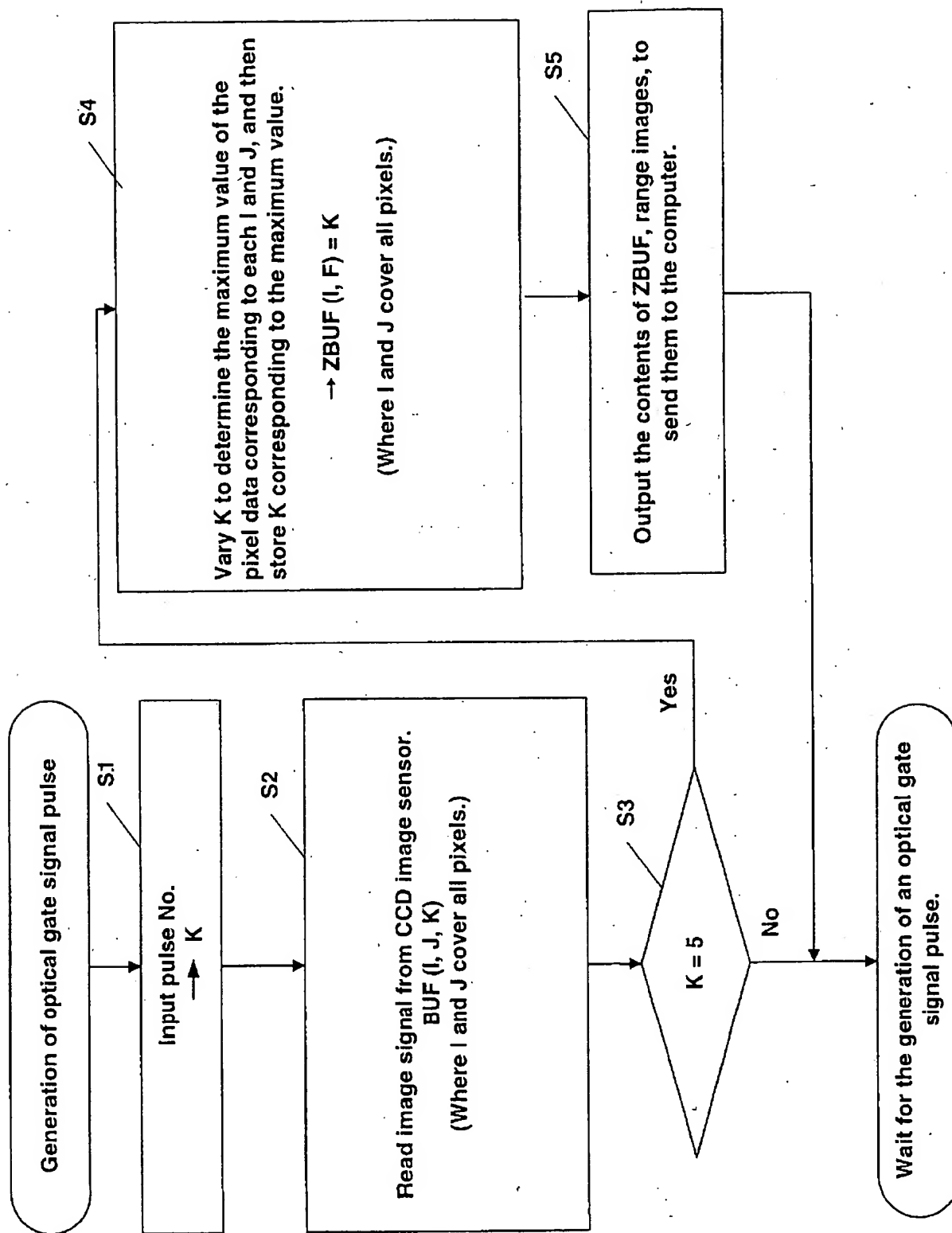


FIG. 5

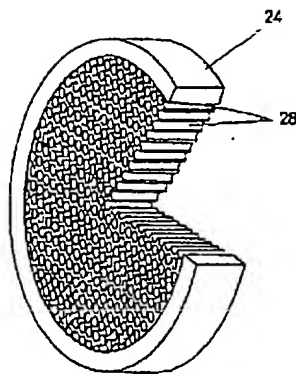


FIG. 6

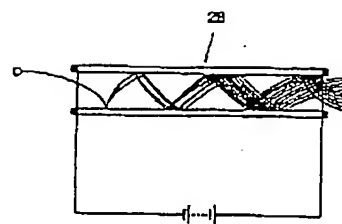
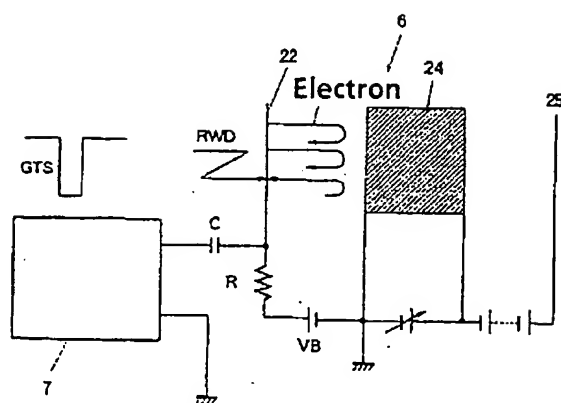
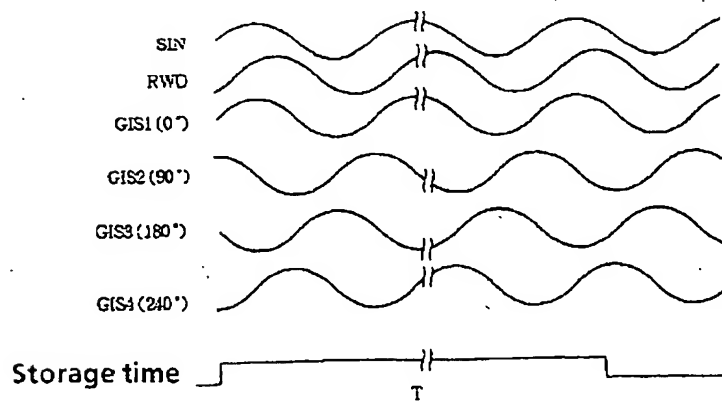


FIG. 7

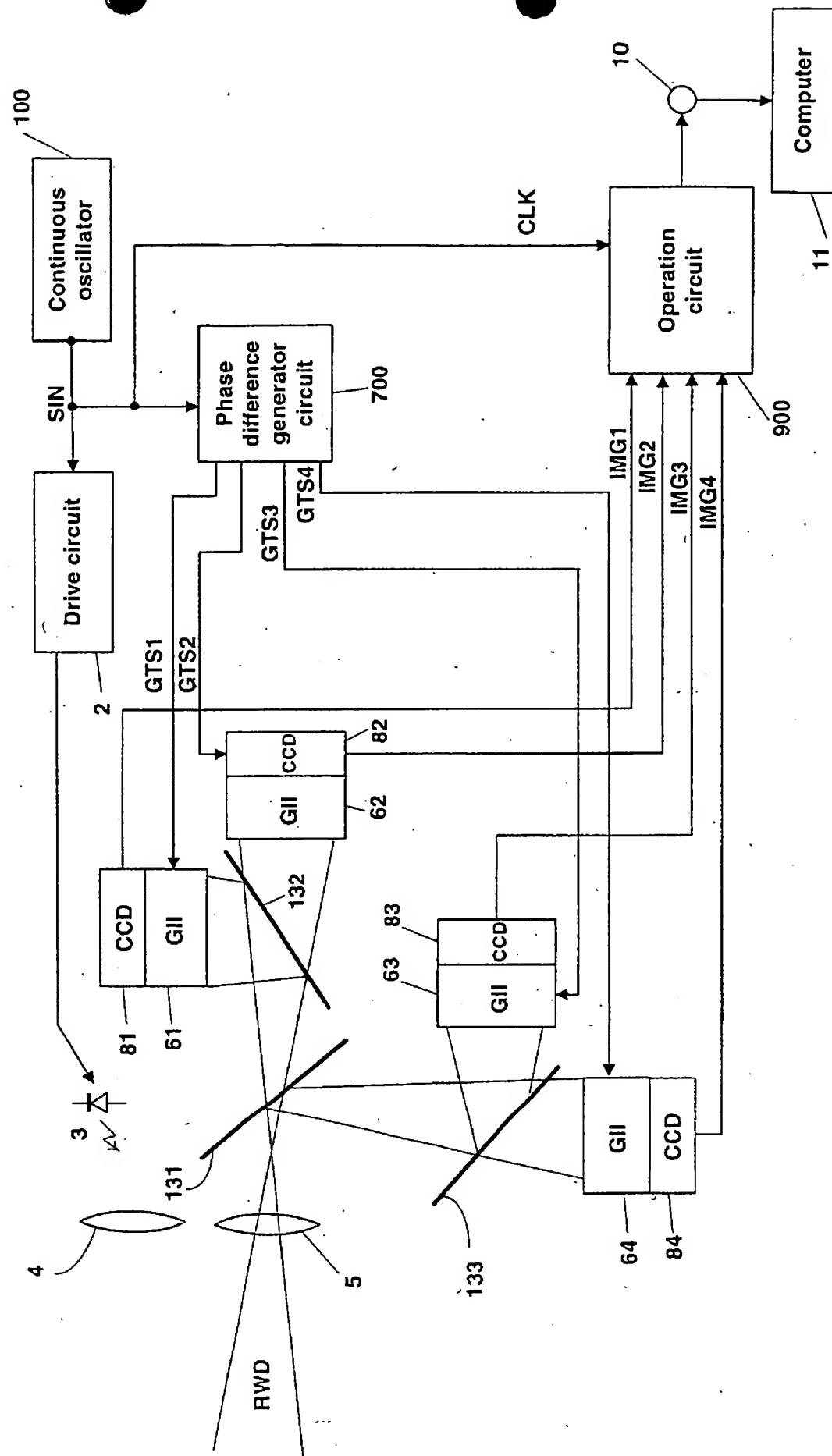


7. Optical gate control circuit

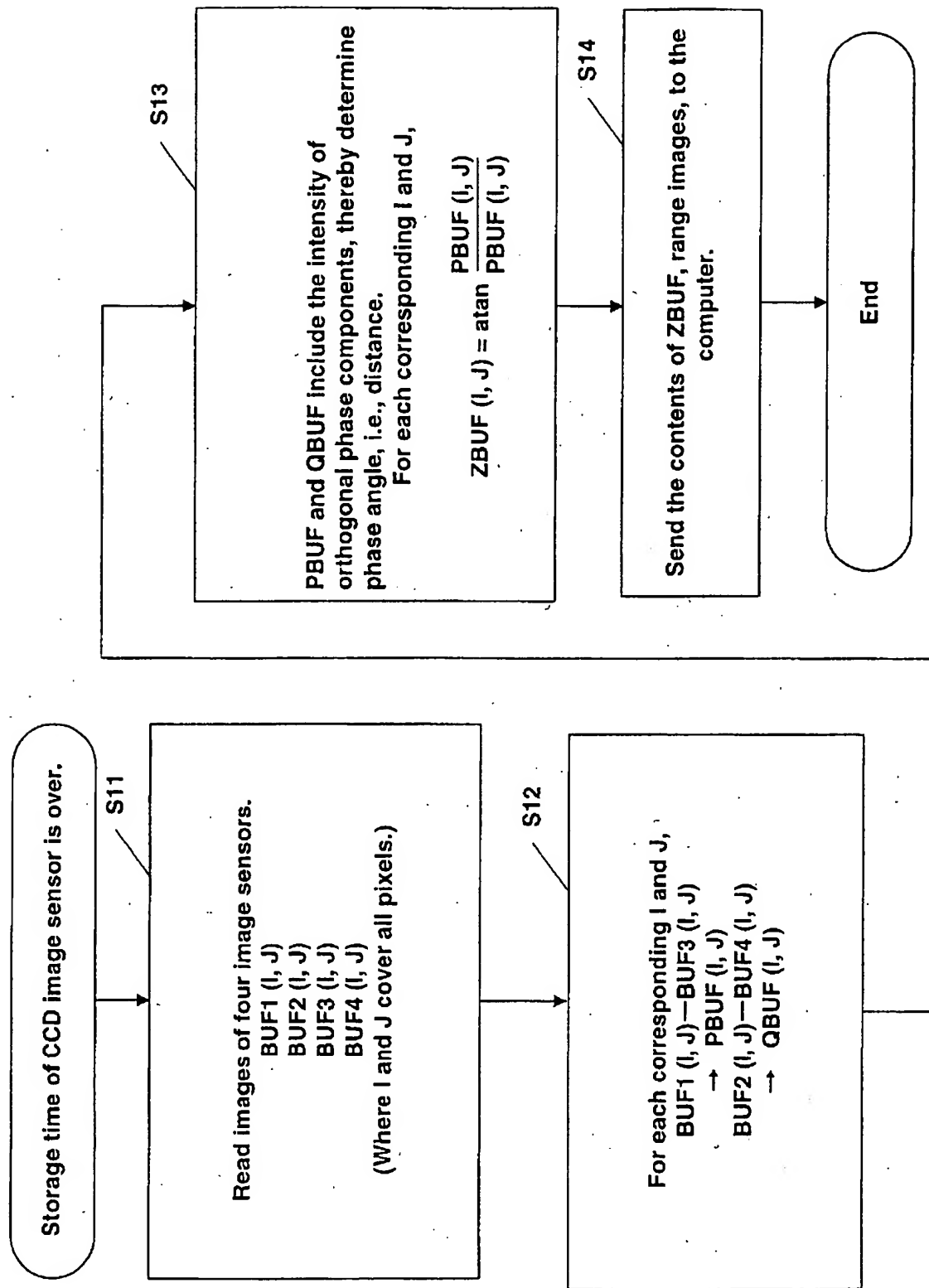
FIG. 9



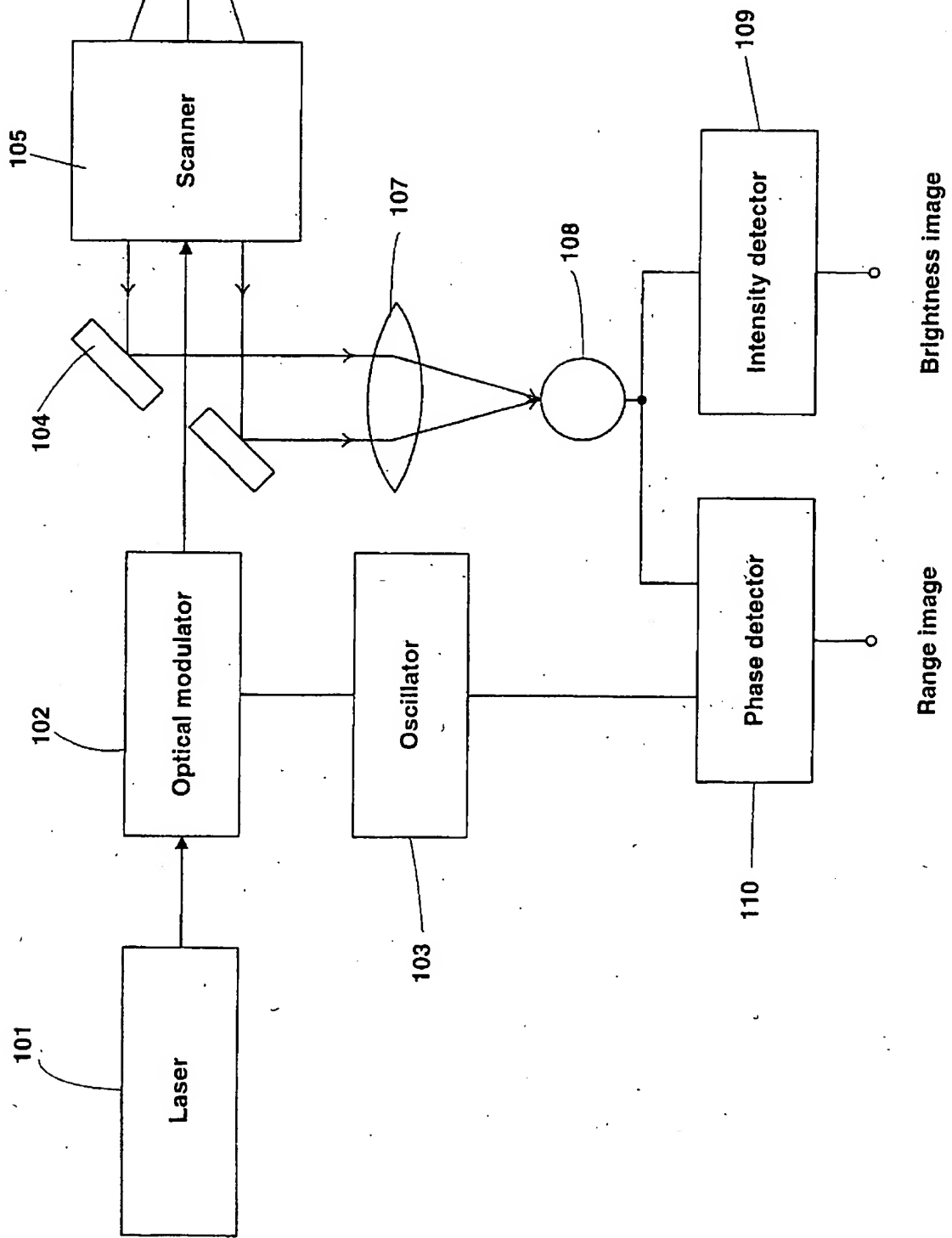
[Fig. 8]



[Fig. 10]



[Fig. 11]



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.